

Nr. 1 August 2000
3. Auflage



FiBL DOSSIER

**Erkenntnisse
aus 21 Jahren DOK-Versuch**

Bio fördert Bodenfruchtbarkeit und Artenvielfalt



In Zusammenarbeit mit

Zürich-Reckenholz

Resultate aus 21 Jahren DOK auf einen Blick

	D	O	K	Seite
	Biologisch-dynamisch	Organisch-biologisch	Konventionell (Integriert)	
Aufwand				
Dünger				5 95 – 100 %
Energie				7 85 – 95 %
Direkter chemischer Pflanzenschutz				5 70 – 85 %
Mechanische Beikrautregulierung				50 – 70 % < 50 %
Erträge				
				6
Bodenfruchtbarkeit				
Phosphor (löslich)				9
Phosphor (Reserve)				9
Kalium (löslich)				9
Kalium (Reserve)				9
Bodenstruktur				10
Regenwürmer Anzahl, Biomasse				11
Laufkäfer Aktivität				11
Mikrobielle Biomasse				12
Mikrobielle Aktivität				13
Mykorrhizierung				14
Artenvielfalt				
Beikräuter				15
Samenvorrat				15
Laufkäfer				15
Regenwürmer				15
Mikroorganismen	höher in den biologischen Verfahren			15

Die langjährigen Resultate aus dem DOK-Versuch zeigen, dass biologische Anbausysteme bei deutlich geringeren Aufwendungen trotz tieferer Erträge eine ressourcenschonende Agrarproduktion ermöglichen. Gleichzeitig fördert der biologische Landbau das Bodenleben und erhöht die Artenvielfalt der Begleitflora und die Fauna.

Verzeichnis der Abkürzungen

D1*	Biologisch-dynamisch (0.6) 0.7 DGVE pro ha
D2**	Biologisch-dynamisch (1.2) 1.4 DGVE pro ha
O1*	Organisch-biologisch (0.6) 0.7 DGVE pro ha
O2**	Organisch-biologisch (1.2) 1.4 DGVE pro ha
K1*	Konventionell (= IP) 0.5 x Normdüngung
K2**	Konventionell (= IP) 1.0 x Normdüngung
N	Ungedüngt
M**	Konventionell (= IP) 1.0 x Normdüngung, nur mineralisch gedüngt

FFP	Fruchtfolgeperiode
DGVE	Dünergrossvieheinheiten
IP	Integrierte Produktion

* reduzierte Düngung
** praxisübliche Düngung

Impressum

Herausgeber:

Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)
Ackerstrasse, Postfach, CH-5070 Frick
Tel. +41(0)62 865 72 72, Fax +41(0)62 865 72 73
E-Mail: admin@fibl.ch, Homepage: www.fibl.ch

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zürich
Tel. +41(0)1 377 71 11, Fax +41(0)1 377 72 01
Homepage: www.admin.ch/sar/fal

Vertrieb:

FiBL

Autoren:

Andreas Fliessbach, Paul Mäder, Lukas Pfiffner (FiBL)
David Dubois, Lucie Gunst (FAL)

Mitarbeit:

Werner Stauffer, Padrout Fried (FAL)
Thomas Alföldi, Urs Niggli (FiBL)

Redaktion:

Gilles Weidmann (FiBL)

Gestaltung:

Silvia Schiffmann (FiBL)

Bilder Titelseite:

Joseph Hättenschwiler (FAL)
Christine Karutz und Lukas Pfiffner (FiBL)

© FiBL, FAL

ISBN 3-906081-06-0

Am Anfang stand die Frage: Ist Biolandbau machbar?

Schnell muss die moderne Forschung sein, zwei oder drei Topfversuche in der Klimakammer und schon ist wieder ein wissenschaftliches Paper produziert. Wie ein Urgestein steht dagegen der DOK-Versuch des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL) und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) in dieser kurzlebigen Forschungswelt. Wer kann es sich heute noch leisten, während 21 Jahren zu messen, zu beobachten, Zahlenberge statistisch auszuwerten und zu interpretieren?

Es ist eine grosse Leistung des Bundesamtes für Landwirtschaft, den DOK-Versuch während so langer Zeit zu finanzieren. Toll ist auch, mit wie viel Engagement die Teams der beiden beteiligten Institutionen seit 1977 arbeiten. Bereits läuft die vierte Fruchtfolgeperiode, sie dauert vom 22. bis zum 28. Jahr des Langzeitversuchs und wird 2006 abgeschlossen sein. Und wieder ist eine Gruppe von Biobauern beratend dabei und hilft den Wissenschaftlern, die Anbausysteme praxisgerecht zu optimieren.

Das Forschungsprojekt DOK ist völlig unerwartet zu einem topaktuellen Thema geworden. Fachleute entwerfen Konzepte für ein Langzeitmonitoring für gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und Mikroorganismen. Der DOK-Versuch zeigt, dass Effekte auf Agrarökosysteme tatsächlich erst nach vielen Jahren abschliessend bewertet werden dürfen, will man nicht Gefahr laufen, falsche Schlüsse zu ziehen.

Zu Beginn der 70er-Jahre zeigten sich die landwirtschaftliche Praxis und die Forschung dem Biolandbau gegenüber sehr skeptisch. Ohne chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel und Dünger schien damals eine Pflanzenproduktion nicht möglich. Biobauern wurden beargwöhnt, obwohl sie bereits grosse Erfolge in der Praxis vorweisen konnten. Die Forschung, welche am privaten FiBL zart knospte, sollte zuerst einmal beweisen, dass bio kein Hirngespinnst ist. 1974 erhielten deshalb die damalige Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) und das FiBL vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) den Auftrag, in einem Langzeitversuch die drei Landbausysteme biologisch-dynamisch (D), organisch-biologisch (O) und konventionell (K) zu vergleichen. Dies war das erste vom Bund finanzierte Forschungsvorhaben zum Thema Biolandbau. Mit der Auflösung der FAC ging die Federführung für den DOK-Versuch an die FAL über.

Das Versuchsdesign des DOK-Versuches (Parzellen auf einem Standort nach zufälliger Verteilung angelegt; alle Parzellen an die Nährstoffkreisläufe von Bauernbetrieben des jeweiligen Landbausystems angeschlossen) erwies sich als geeignet, immer wieder neue und aktuelle Fragen zu beantworten.

Heute bezweifelt niemand mehr, dass bio funktioniert! Vielmehr interessiert die Öffentlichkeit und die politischen Entscheidungsträger, ob Bioprodukte analytisch oder organoleptisch besser sind und ob sie eine höhere Vitalqualität haben. Weiter: Wie wirken sich die Anbaumethoden auf die Bodenstruktur aus? Werden Abbauprozesse im Boden beschleunigt oder gebremst? Schadet der chemische Pflanzenschutz langfristig den Bodentieren? Verhindert der Biolandbau oder die integrierte Produktion im Acker Oberflächenerosion? Dutzende von Labors und Institute aus der ganzen Welt haben im DOK-Versuch Pflanzen, Mikroorganismen, Tiere oder Bodenproben untersucht. Tausende von Forschungsergebnissen geben ein neues Verständnis von der Nachhaltigkeit. Das FiBL-Dossier Nr. 1, welches bereits nach sechs Monaten nachgedruckt werden musste, zeigt, wie attraktiv langjährige Vergleichsforschung sein kann.

Urs Niggli, Direktor FiBL



Foto: Thomas Alföldi (FiBL)

Forscher, Feldequipe und beratendes Gremium aus Biolandwirten anlässlich der jährlich stattfindenden Flurbegehung (1991): Gemeinsam werden Massnahmen und etwaige Änderungen für die biologischen Verfahren besprochen. Für die damalige Zeit bahnbrechend waren praktizierende Landwirte schon in die Versuchsplanung einbezogen worden.

Versuchsanlage



Foto: Archiv FIBL

Der Versuch befindet sich im Leimental bei Basel (CH) auf 300 Meter über Meer. Das topografisch ausgeglichene Versuchsfeld ist leicht nordexponiert. Das Gelände befindet sich auf der Talsohle des Birsigbaches. Früher wurden die Felder wegen der Überschwemmungsneigung und des hohen Grundwasserspiegels als sogenannte Wässermatten genutzt. Heute wird auf diesen Flächen intensiver Acker- und Gemüsebau betrieben.

Der Hauptunterschied der Verfahren liegt in der Strategie der Düngung und des Pflanzenschutzes, während die Fruchtfolge und die Bodenbearbeitung weitgehend identisch sind.

Standort und Boden

Die Fläche, auf der der DOK-Versuch angelegt wurde, wird seit Jahrzehnten als Ackerland genutzt (1957–1973 Ackerbaufruchtfolge mit Klee gras, 1973–1975 Getreide und Feldgemüse, 1976: Hafer). Im Mai 1977 wurde auf der gesamten Fläche Klee gras eingesät. Im Frühjahr 1978 begann der Versuch mit den Sommerungen Kartoffeln, Sommerweizen und Sommergerste.

Die Jahresmitteltemperatur beträgt 9.5 °C, der mittlere Jahresniederschlag 792 Millimeter.

Der Boden ist eine schwach pseudovergleyte Parabraunerde (haplic luvisol) auf einer 0.9–1.3 Meter mächtigen Lössschicht.

Verfahren

Die Verfahren Biologisch-dynamisch und Organisch-biologisch werden den Richtlinien der jeweiligen Produzenten-Organisationen entsprechend durchgeführt, das konventionelle Verfahren inzwischen nach den Grundsätzen der integrierten Produktion.

Zusätzlich zu den drei Hauptverfahren, die alle organisch gedüngt werden, gibt es seit Beginn der zweiten Fruchtfolgeperiode ein ausschliesslich mineralisch gedüngtes, konventionelles Verfahren und ein seit Beginn des Versuches nicht gedüngtes Verfahren, das aber die Pflegemassnahmen des biologisch-dynamischen Verfahrens erhält.

Das mineralisch gedüngte Verfahren war anfangs als unge-düngtes konventionelles Verfahren konzipiert worden, um die Auswirkungen der Pflanzenschutzmassnahmen abschätzen zu können.

Düngung

In den ersten zwei Fruchtfolgeperioden entsprach die ausgebrachte Hofdüngermenge 0.6 Düngergrossvieheinheiten (DGVE) in der reduzierten und 1.2 DGVE in der praxisüblichen Düngungsstufe. Mit Beginn der dritten Fruchtfolgeperiode wurde die Düngermenge entsprechend auf 0.7 und 1.4 DGVE erhöht.

Generell wurden in den biologischen Verfahren häufiger kleine Mistmengen verabreicht, während im konventionellen Verfahren Mist nur zu den Hackfrüchten gegeben wurde.

Die Düngung in den konventionellen Verfahren richtet sich nach den «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau» der Eidg. Forschungsanstalten.

Hauptunterschiede der Verfahren

Verfahren	biologisch-dynamisch		organisch-biologisch		konventionell (IP)		mineralisch (IP)	ungedüngt
	D1	D2 *	O1	O2 *	K1	K2 *	M *	N
Düngung								
Hofdünger	Mistkompost, Gülle		Rottemist, belüftete Gülle		Stapelmist, Gülle		–	–
DGVE Hofdünger	(0.6) 0.7	(1.2) 1.4	(0.6) 0.7	(1.2) 1.4	(0.6) 0.7	(1.2) 1.4	–	–
Mineraldünger	–		Gesteinsmehl, Kalimagnesia		ergänzend NPK-Mineraldünger		nur NPK-Mineraldünger	–
Pflanzenschutz								
Unkräuter	mechanisch				mechanisch und chemisch			mechanisch
Krankheiten	vorbeugende Massnahmen				chemisch (nach Schwandenschwelle)			vorbeugende M.
Schädlinge	Pflanzenextrakte und Antagonisten				chemisch (nach Schwandenschwelle)			Pflanzenextrakte, Antagonisten
Spezielles	bio.-dyn. Präparate		bis 1991 Kupfer zu Kartoffeln		Halmverkürzer			bio.-dyn. Präparate



Fruchtfolge

1. FFP 1978–1984	Sorte	2. FFP 1985–1991	Sorte	3. FFP 1992–1998	Sorte	4. FFP 1999–2005	Sorte
1. Kartoffeln Gründüngung	Ostara	1. Kartoffeln Gründüngung	Désirée	1. Kartoffeln Gründüngung	Désirée	1. Kartoffeln Gründüngung	Désirée
2. Winterweizen 1 Zwischenfutter	Probus	2. Winterweizen 1 Zwischenfutter	Sardona	2. Winterweizen 1 Zwischenfutter	Ramosa/Tamaro	2. Winterweizen 1 Gründüngung	Tamaro
3. Weisskohl	Wädenswiler Original	3. Randen	Mobile	3. Randen	Mobile	3. Soja Gründüngung	Maple Arrow
4. Winterweizen 2	Probus	4. Winterweizen 2	Sardona	4. Winterweizen 2	Ramosa/Tamaro	4. Silomais	Magister
5. Wintergerste	Gold	5. Wintergerste	Gerbel/Triton	5. Kunstwiese 1	Standard- mischung 430	5. Winterweizen 2	Tamaro
6. Kunstwiese 1	Standard- mischung 330	6. Kunstwiese 1	Standard- mischung 330	6. Kunstwiese 2	Standard- mischung 430	6. Kunstwiese 1	Standard- mischung 330
7. Kunstwiese 2	Standard- mischung 330	7. Kunstwiese 2	Standard- mischung 330	7. Kunstwiese 3	Standard- mischung 430	7. Kunstwiese 2	Standard- mischung 330

Fruchtfolge, Sortenwahl und Bodenbearbeitung

Die Fruchtfolge ist in allen Verfahren dieselbe. Dauer und Vielseitigkeit der Fruchtfolge sind ein Kompromiss zwischen den verschiedenen Anbausystemen, deren Fruchtfolgen sich in der Praxis deutlicher unterscheiden.

Die Fruchtfolge wurde zu Beginn jeder neuen Fruchtfolgeperiode, in Absprache mit allen Beteiligten und entsprechend den Bedürfnissen der Praxis und der Forschung, leicht angepasst. Auch bei der Sortenwahl handelte es sich um einen Kompromiss zwischen den Ansprüchen der konventionellen und der biologischen Landwirtschaft. In der Grundbodenbearbeitung und Saatbettvorbereitung unterscheiden sich die Verfahren nicht. Hingegen wurde in den Bioverfahren häufiger gehackt.

Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz

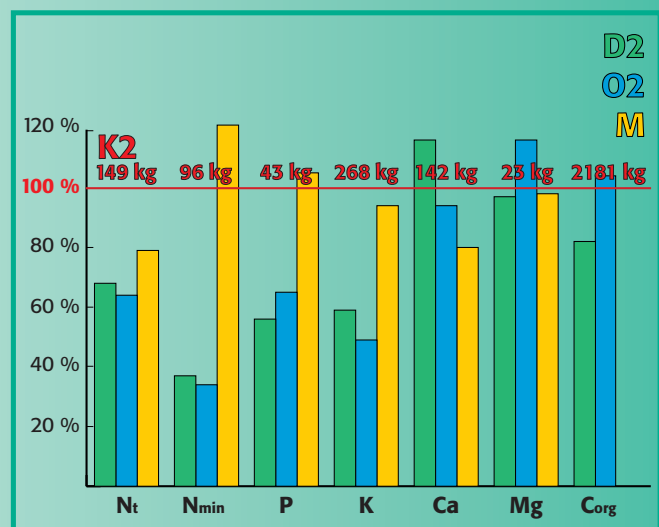
Im Durchschnitt der drei Fruchtfolgeperioden erhielten die Bioverfahren deutlich geringere Mengen der Makronährelemente N, P und K. Entsprechend der Versuchskonzeption war die Menge an ausgebrachter organischer Substanz nahezu gleich. Im biologisch-dynamischen Verfahren ergab sich aufgrund eines neuen Hofdüngerlieferanten in der dritten Fruchtfolgeperiode eine fast doppelt so hohe Kaliumdüngung wie in den vorherigen Jahren.

Während die Ackerkulturen in den konventionellen Parzellen durchschnittlich 3.6 Pestizidbehandlungen pro Jahr erhielten, wurden die Bioparzellen nur etwa jedes zweite Jahr behandelt. Die biologisch-dynamischen Verfahren erhielten mehrmals pro Jahr die Hornmist- und Hornkiesel-Präparate.

Die Anzahl Pestizidbehandlungen war wegen des hohen Krankheits- und Schädlingsdrucks im Kartoffelanbau am höchsten (bis zu 9 Behandlungen im konventionellen Verfahren). Auch in den biologischen Verfahren wurden hier direkte Bekämpfungen durchgeführt, insbesondere Kupfer zur Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) im organisch-biologischen Verfahren und *Bacillus thuringiensis* Präparate gegen Kartoffelkäfer in beiden biologischen Verfahren.

Düngung und Pflanzenschutzmitteleinsatz erfolgten gemäss der Praxis der untersuchten Landbaumethoden.

Durchschnittlicher Nährstoffeinsatz pro Hektar und Jahr (1978–1998)



Am deutlichsten war der Unterschied in der Menge eingesetzter Nährstoffe beim mineralischen Stickstoff, wovon die biologisch bewirtschafteten Verfahren um 65 Prozent weniger erhielten. Die Phosphordüngung war in den biologischen Verfahren 40 Prozent und die Kaliumdüngung 45 Prozent geringer als im konventionellen Verfahren.

Erreicht Bio ansprechende Erträge?

Biologisch angebaute Kulturen erreichen auch langfristig das Ertragsniveau mineralisch gedüngter und chemisch-synthetisch geschützter Kulturen nicht. Mit Ertragseinbußen von durchschnittlich 20 Prozent muss im Bioanbau gerechnet werden.

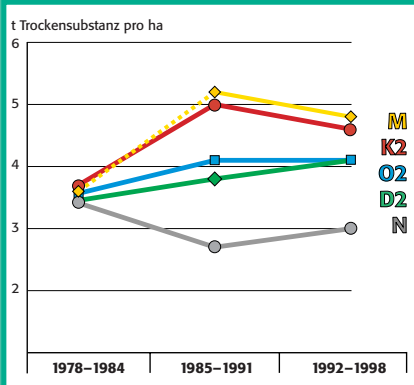
Der rund 50 Prozent geringere Einsatz an Düngern und fossiler Energie und der Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel in den biologischen Anbausystemen hat im Vergleich zum konventionellen System zu durchschnittlich nur 21 Prozent tieferen Erträgen geführt. Die in den Bioverfahren im Durchschnitt über Erwartungen hohen Erträge geben Anlass zur Vermutung, dass die Pflanzen in Bioböden vermehrt von Wurzelsymbiosen mit Rhizobien und Mykorrhizapilzen profitieren.

Bei den Kartoffeln des DOK-Versuchs waren die Ertragseinbußen in den biologischen gegenüber dem konventionellen Verfahren sehr hoch. Erklärung dafür dürften der hohe Nährstoffbedarf der Kultur während der relativ kurzen Kulturdauer und die hohe Krankheitsanfälligkeit der Kartoffeln sein.

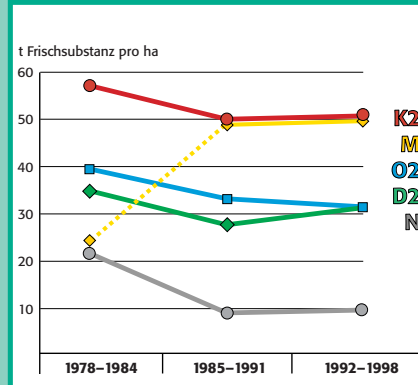
Dank der vorteilhaften Fruchtfolge und der mechanischen Regulierungsmassnahmen wurden die Begleitkräuter in keiner der biologisch angebauten Kulturen zur Konkurrenz. Durch die Möglichkeit, bei Bedarf direkte Pflanzenschutzmassnahmen durchführen zu können, haben die konventionellen Anbausysteme aber eine leicht höhere Ertragsstabilität erzielt.

Die Fortsetzung des Versuches wird zeigen, ob die biologischen Systeme dank intensiver biologischer Umsetzungsprozesse im Boden die tieferen Nährstoffgehalte im Boden werden kompensieren können.

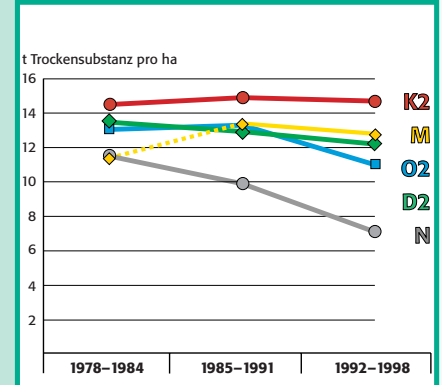
Winterweizen Kornertrag



Kartoffeln Knollenertrag



Kleegrasertrag im 1. und 2. Hauptnutzungsjahr



In der ersten Fruchtfolgeperiode waren die Weizenerträge in den einzelnen Anbausystemen noch auf einem vergleichbaren Niveau. Später betrugen die Ertragsunterschiede zwischen den praxisüblichen Verfahren 11 bis 14 Prozent. Bedingt durch eine verbesserte Anbautechnik und eine bessere Sorte stieg der Weizenertrag in der zweiten Fruchtfolge in allen Anbausystemen an und pendelte sich bei den Bioverfahren bei 4,1 Tonnen Trockensubstanz pro Hektar ein.

Die Kartoffelerträge waren in den biologischen Verfahren um 34–42 Prozent tiefer als in den konventionellen. Dies war schon kurze Zeit nach der Umstellung festzustellen. Neben dem geringeren Gesamtertrag an Kartoffeln war der marktfähige Anteil infolge einer kleineren Sortierausbeute und mehr Drahtwurmschäden in den biologischen Verfahren geringer.

Die Unterschiede im Ertrag der Kunstwiese waren mit 11–13 Prozent über die beiden ersten Hauptnutzungsjahre vergleichsweise gering.

In der dritten Fruchtfolgeperiode vergrößerte sich der Ertragsunterschied zwischen den biologischen und konventionellen Verfahren, was möglicherweise auf den Wechsel zu einer anderen Ansaatmischung und etwas reduzierten Hofdüngergaben zurückzuführen war. Der kleine Unterschied zwischen den beiden biologischen Verfahren in der dritten Fruchtfolgeperiode lässt sich durch die erhöhte Kaliumzufuhr im biologisch-dynamischen Verfahren erklären.

Sind Nährstoffzufuhr und -entzug im Gleichgewicht?

In den Bioverfahren wurde weitgehend auf die Zufuhr von Handelsdüngern verzichtet. Trotzdem war der Entzug an Nähr-elementen verhältnismässig hoch. Entsprechend fiel die Nährstoffbilanz in den Bioverfahren bei den Elementen N, P und K deutlich negativ aus.

Alle Verfahren wiesen über die 21 Jahre eine negative **Stickstoffbilanz** aus. Das heisst, es wurde sehr viel weniger gedüngt als entzogen. Allerdings sind hier die Stickstoffmineralisation, die Stickstofffixierung durch Leguminosen und die Einträge aus der Atmosphäre nicht berücksichtigt.

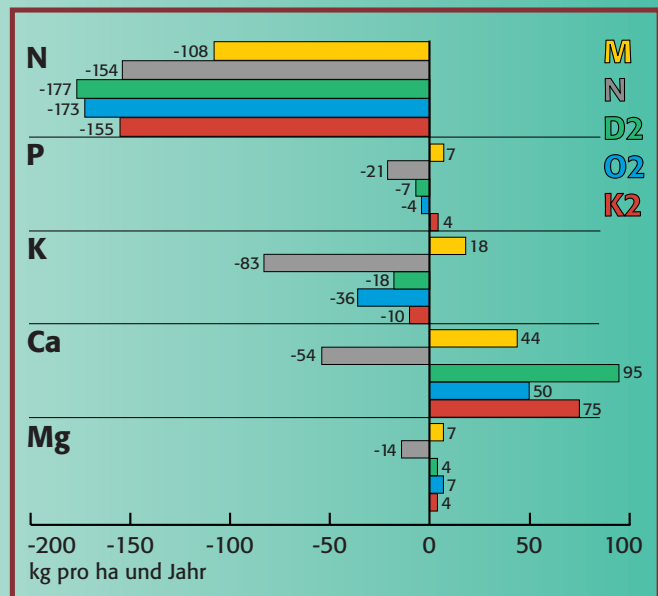
Das Element **Phosphor** hinterlässt im konventionellen Verfahren einen Überschuss, während die biologischen Verfahren mit einem leichten Mangel abschliessen.

Kalium weist lediglich im mineralisch gedüngten Verfahren einen Bilanzüberschuss auf und zeigt unter den mit Mist gedüngten Verfahren im organisch-biologischen Verfahren das grösste Defizit.

Calcium wird offensichtlich in allen Verfahren ausreichend verabreicht mit dem höchsten Überschuss im biologisch-dynamischen Verfahren.

Biologisch bewirtschaftete Flächen weisen höhere Nährstoffdefizite aus. Deshalb müssen die verfügbaren und die Reserve-Nährstoffe regelmässig mit Bodenanalysen bestimmt werden.

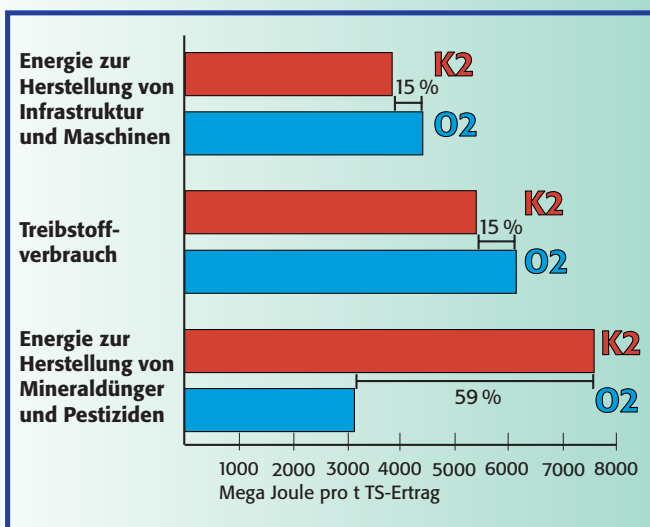
Nährstoffbilanz 1978–1998



Ist Bio auch sparsamer?

Biologisch angebaute Kulturen benötigen weniger fossile Energie, um die gleiche Menge eines Erntegutes zu produzieren wie konventionelle.

Direkte und indirekte Energiekomponenten



Im biologischen Anbau wird etwas mehr Energie für Infrastruktur und Maschinen benötigt und mehr Treibstoff verbraucht. Es werden aber deutlich weniger Ressourcen für Dünger und Pestizide verbraucht.

Die Effizienz der Nutzung vorhandener Ressourcen ist ein wichtiger Indikator für die Nachhaltigkeit eines Produktionssystems. Alle Faktoren, die zur Erzeugung einer Ertragseinheit beitragen, werden in Energieeinheiten umgerechnet. Für den Vergleich der Energieeffizienz muss neben den direkten Energiebeiträgen, wie der Treibstoff für den Schlepperbetrieb, die indirekte Energie berücksichtigt werden, die zur Erzeugung der zugekauften Produktionsmittel, wie Pflanzenschutz- und Düngemittel, gebraucht wird.

Weil die Erträge im konventionellen Verfahren zum Teil deutlich höher waren, fiel der Unterschied im Energieaufwand pro Ertragseinheit mit 19 Prozent vergleichsweise gering aus. Bezogen auf die Fläche betrug der Unterschied jedoch 30–50 Prozent.

Tut Bio dem Boden gut?

Die organische Düngung wirkt sich positiv auf den Gehalt an organischer Substanz im Boden aus und verhindert eine Versauerung des Bodens.

Die organische Substanz (OS) des Bodens und der pH-Wert beeinflussen massgeblich die Bodenstruktur, die biologische Aktivität und das Pflanzenwachstum.

In allen Verfahren ist seit Beginn des DOK-Versuches eine Abnahme der Gehalte an organischer Substanz festzustellen. In den nicht mit Hofdünger versorgten Böden war der Rückgang des organischen Kohlenstoff (C)-Gehaltes deutlicher als in den Verfahren D2, O2 und K2, wo etwa gleiche Verluste an organischer Substanz auftraten. Der C-Gehalt im Verfahren D2 war am Ende der dritten Fruchtfolgeperiode um 15 Prozent höher als im konventionellen Verfahren mit Hofdünger und um 30 Prozent höher als im ungedüngten Verfahren.

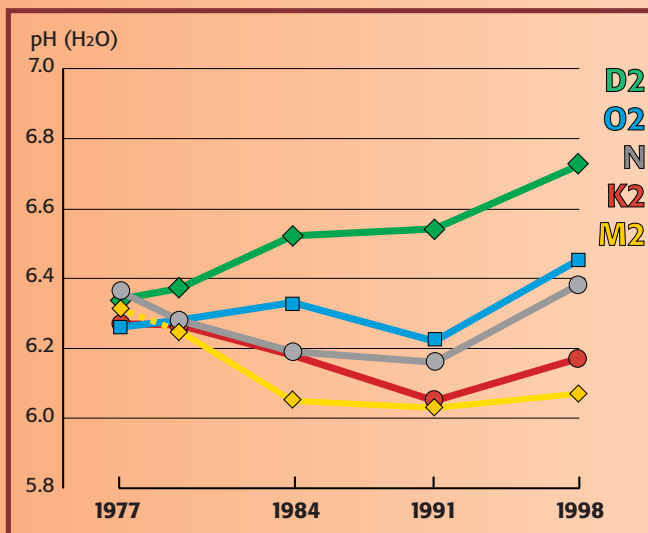
Die Verwendung von Mistkompost wirkt sich sowohl auf den Boden-pH als auch auf die organische Substanz positiv aus. Darauf weisen auch biologische und physikalische Fraktionierungsmethoden der organischen Substanz hin. Anhand der Huminstoff-Fraktionierung wird dies sichtbar: Humine, die als biologisch stabil gelten, sind im biologisch-dynamischen Verfahren deutlich erhöht.



Foto: Archiv FiBL

Die Verwendung von Mistkompost im biologisch-dynamischen Verfahren wirkt sich günstig auf Boden-pH und Huminstoffgehalt und die biologische Aktivität der Böden aus.

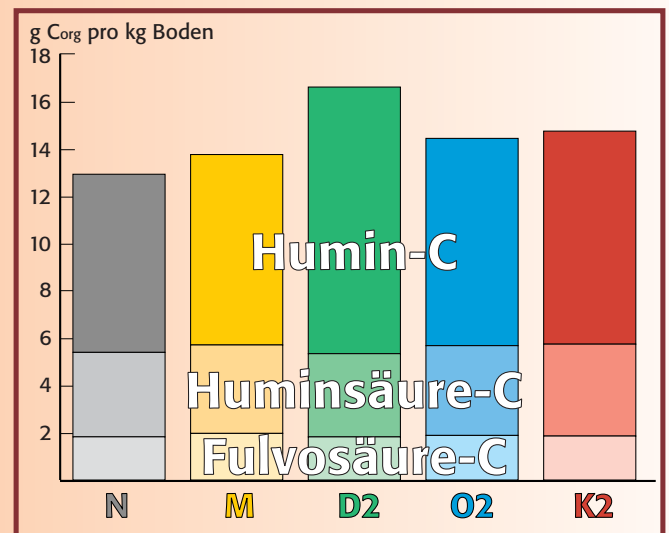
Bodenacidität



Im Vergleich zur Ausgangssituation ist der pH-Wert im biologisch-dynamischen Verfahren stark, im organisch-biologischen leicht angestiegen und in den beiden konventionellen Verfahren leicht gesunken. Das Absinken des pH-Wertes hängt wahrscheinlich mit der physiologisch sauren Wirkung der verwendeten Mineraldünger zusammen.

Als Reaktion auf die Versauerungstendenz in den konventionellen Verfahren werden jetzt alkalisch wirkende Mineraldünger verwendet. 1999 erfolgte in den konventionellen Verfahren eine Erhaltungskalkung.

Kohlenstoffverteilung in den Huminstoff-Fractionen



Der Gesamtgehalt an organischer Substanz reagiert auf die Bewirtschaftungsänderungen in der Regel nur langsam. Eine chemische Fraktionierung der OS gibt deshalb mehr Aufschluss. Der höhere Gehalt an organischer Substanz im biologisch-dynamischen Verfahren beruhte auf einem höheren Anteil stabiler organischer Verbindungen, die durch die Huminfraktion repräsentiert werden.

Laugt Bio den Boden aus?

Infolge der deutlich negativen Nährstoffbilanzen nehmen die Gehalte an leichtlöslichem Phosphor und Kalium in Bioböden deutlich ab. Die Reserve-nährstoffe hingegen nehmen weniger rasch ab.

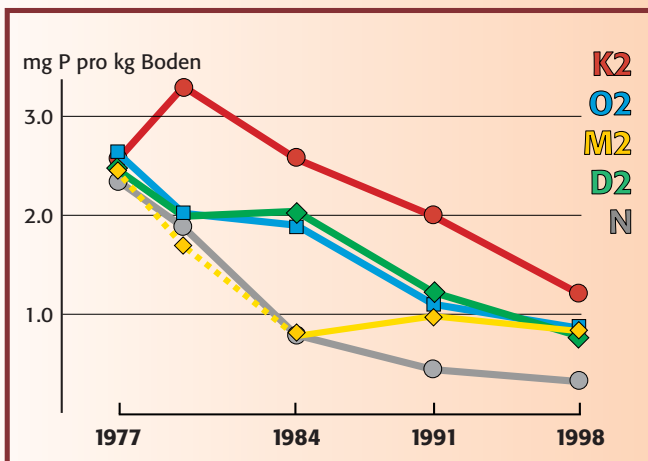


Foto: Archiv FAL

Kalium-Mangelsymptome auf dem Kartoffelblatt. Kalium entwickelte sich bei Kartoffeln in den Bioverfahren schon früh zu einem ertragslimitierenden Element. Eine Ergänzungsdüngung mit einem Kalihandelsdünger ist deshalb in dieser Kultur oft auch im Biolandbau angezeigt.

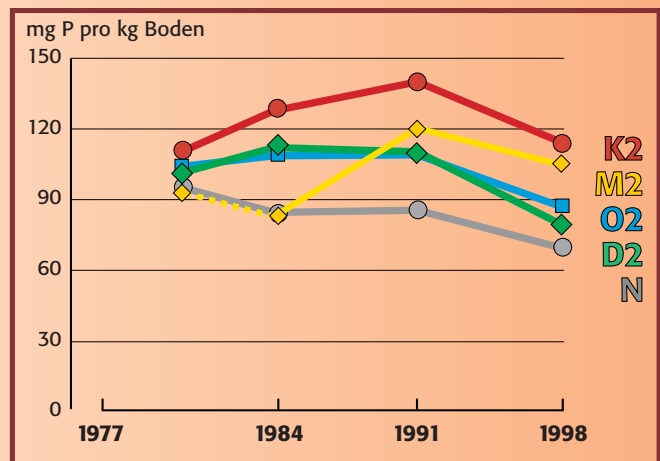
Trotz relativ tiefer Gehalte in der löslichen Fraktion entwickelte sich Phosphor in keinem der gedüngten Verfahren zu einem Mangellement. Dies erklärt sich durch den intensiveren Phosphortransfer zwischen der Bodenlösung und der Bodenfestphase in den biologischen Verfahren sowie durch einen höheren Beitrag der mikrobiellen Biomasse zur Pflanzenernährung (Studien Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich).

Wasserlöslicher Phosphor (CO₂-Extrakt)



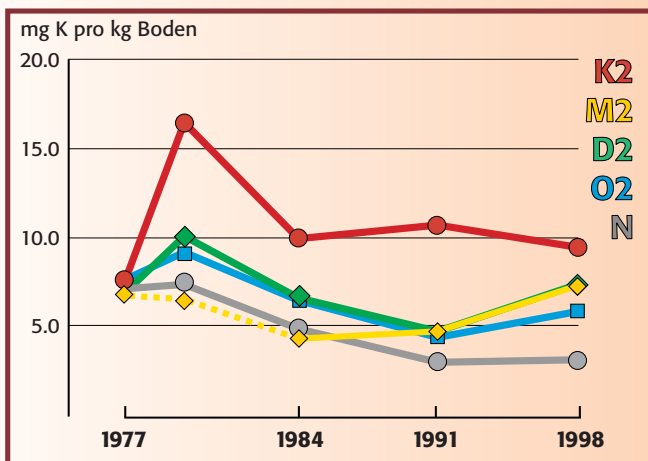
Die wasserlöslichen Phosphor-Gehalte der Böden haben in allen Verfahren im Laufe des Versuches deutlich abgenommen. Zu Anfang des Versuches wurde das konventionelle Verfahren mit Kalium und Phosphor aufgedüngt. Daher war der lösliche Gehalt im Verfahren K2 deutlich höher, sank jedoch kontinuierlich auf das Niveau der anderen Verfahren ab.

Zitronensäure-löslicher Phosphor



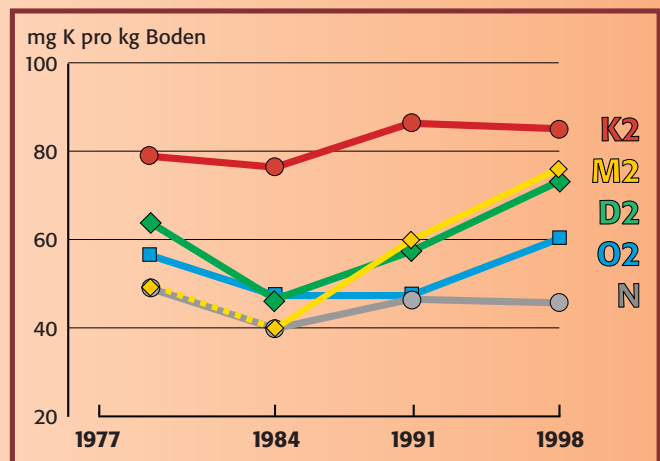
Die Zitronensäure-lösliche Fraktion des P ist weniger gut verfügbar und spiegelt die Reserve-Nährstoffe wider. Ausgehend von den Gehalten im Jahr 1980 sind keine massiven Veränderungen erkennbar – im Vergleich zu den Bioverfahren sind die Gehalte in den konventionellen Verfahren jedoch deutlich höher.

Wasserlösliches Kalium (CO₂-Extrakt)



Die Gehalte an leichtlöslichem Kalium der Bioböden zeigen keine deutlichen Tendenzen, waren aber schon zu Versuchsbeginn niedrig. Gut sichtbar ist hingegen die Aufdüngung des konventionellen Verfahrens zu Versuchsbeginn.

Doppellactat-lösliches Kalium



Die nachlieferbare Kalium-Fraktion, das Doppellactat-lösliche K, scheint leicht anzusteigen und weist im konventionellen Verfahren höhere Werte auf.

Hinterlässt Bio eine bessere Bodenstruktur?

Der Aufbau der Bodenfruchtbarkeit ist ein wichtiges Ziel nachhaltiger Landnutzung. Gemäss Schweizer «Verordnung über Belastungen des Bodens» (VBBo) ist ein Boden fruchtbar, wenn er eine für seinen Standort typische, artenreiche, biologisch aktive Lebensgemeinschaft, eine typische Bodenstruktur sowie eine ungestörte Abbaufähigkeit aufweist.

Die Ergebnisse aus dem DOK-Versuch zeigen, dass zur Erhaltung einer intakten Bodenstruktur ein schonender Einsatz von Landmaschinen alleine nicht genügt. Auch Düngung und Pflanzenschutz müssen derart gestaltet werden, dass das Bodenleben gefördert wird und durch die Lebendverbauung ein gut strukturierter Boden entsteht.

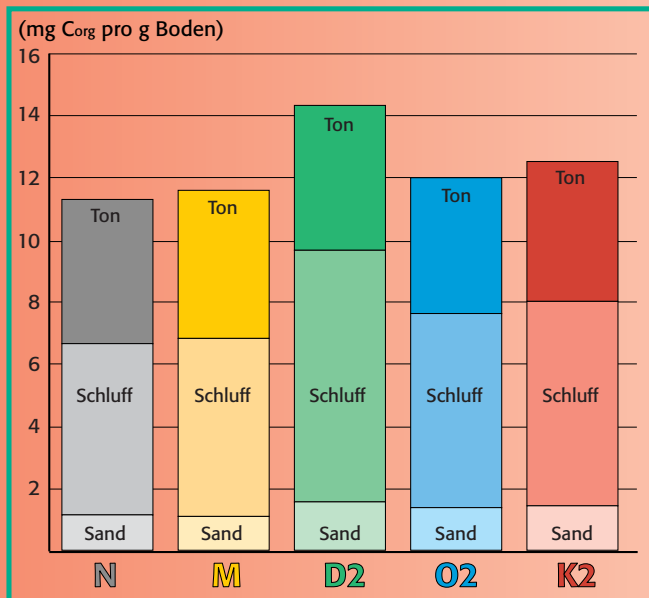
Biologische Bewirtschaftung verbessert die Bodenstruktur durch eine höhere Belebtheit und vermindert damit Bodenverlust durch Erosion.



Fotos: Thomas Alföldi (FiBL)

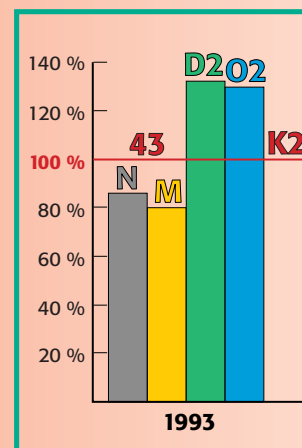
Organische Substanz verkittet die Bodenteilchen und bewirkt eine gute Bodenstruktur. Die Böden des Feldversuchs zeigen im Frühjahr, wenn der Boden noch nicht bedeckt ist, deutliche Unterschiede in der Verschlammungsneigung und Struktur. Besonders die Verfahren Biologisch-dynamisch (links) und Mineralisch-Konventionell (rechts) zeigen offensichtliche Strukturunterschiede.

Kohlenstoffverteilung in den Korngrössenfraktionen

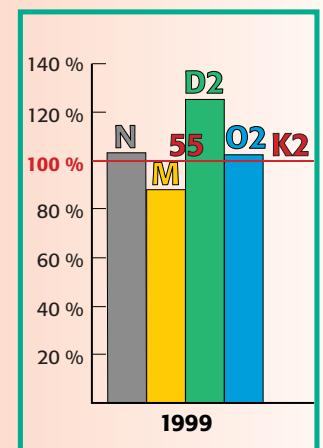


Die Korngrössenfraktionierung zeigt, dass die Unterschiede im Kohlenstoff (C_{org})-Gehalt vor allem auf höhere Gehalte in der Schlufffraktion zurückzuführen sind. Darauf beruht somit die geringere Verschlammungsneigung der biologisch-dynamischen Böden.

Perkulationsstabilität (ml pro min.)



Krümelstabilität (% stabile Aggregate > 250 µm)



Mit der Perkulationstechnik, die die Erosionsneigung der Böden widerspiegelt, wurden in den biologischen Verfahren bis zu 30 Prozent mehr stabile Aggregate ermittelt als im konventionellen Verfahren mit Hofdünger. Im Vergleich zum mineralischen Verfahren waren es sogar mehr als 60 Prozent. Mit einer Nasssiebungstechnik, bei der feldfeuchte Bodenproben verwendet wurden, waren diese Unterschiede etwas weniger deutlich, betrug aber immer noch 10–20 Prozent. Bei Verwendung getrockneter Bodenproben (Standardmethode) waren die Unterschiede nur noch gering. Dies zeigt, dass das Bodenleben einen entscheidenden Einfluss auf die Bodenstruktur ausübt.

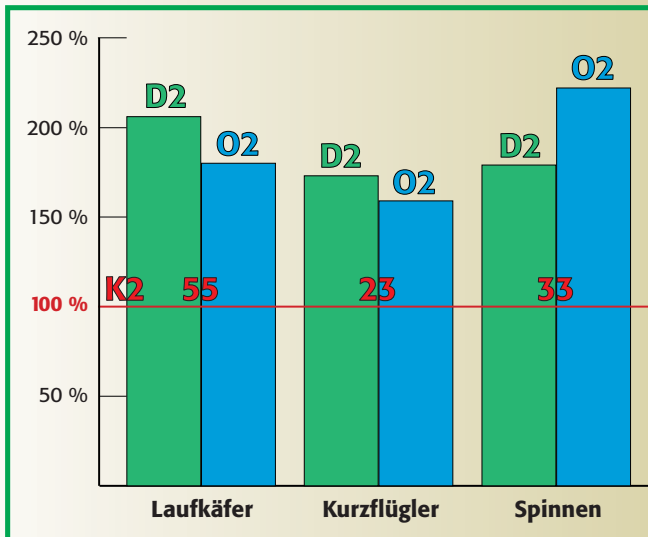
Sind Bioböden lebendiger?

Foto: Siegfried Keller (FAL)



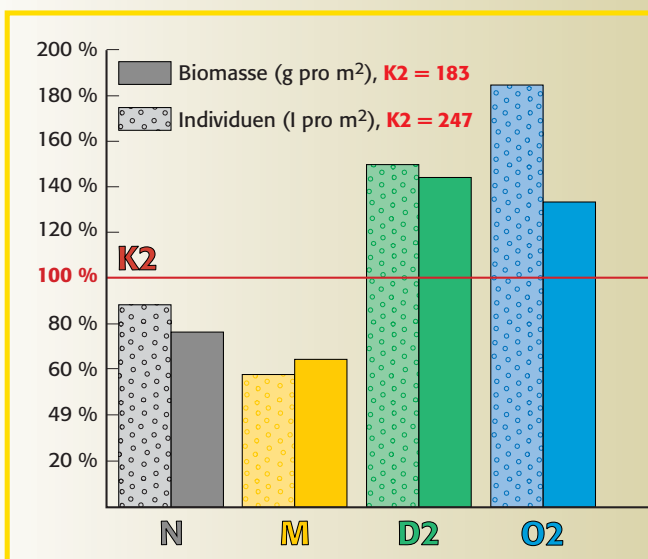
Gliedertiere

Häufigkeit von Laufkäfern, Kurzflüglern und Spinnen (Mittelwert von 1988, 1990 und 1991)



In den Bioparzellen sind auf dem Boden lebende, nützliche Gliedertiere fast doppelt so häufig anzutreffen wie in den konventionellen Parzellen. Dieser Unterschied wird durch den unterschiedlichen Eintrag von Pflanzenschutzmitteln und Düngern erklärt. Durch verschiedene Pestizide werden diese Gliedertiere direkt abgetötet, oder deren Beuteangebot wird reduziert. Die reichhaltigere Begleitflora und die geringere Bestandesdichte in den Biokulturen verbessern die Lebensraumverhältnisse für viele Arten dieser Gliedertiere wesentlich. Gefährdete Laufkäferarten und mikroklimatisch anspruchsvolle Arten kamen meist nur in den Bioparzellen vor.

Biomasse und Individuenzahl der Regenwürmer (Mittelwert von 1990, 1991 und 1992)



Gliedertiere wie Laufkäfer, Kurzflügelkäfer und Spinnen gelten als empfindliche Bioindikatoren für die Bewertung der Lebensraumqualität. Viele Arten dieser Tiergruppen sind wichtige Schädlingsvertilger in vielen landwirtschaftlichen Kulturen. Sie leben räuberisch von anderen Insekten und können täglich Beutemengen bis zum Doppelten des Eigengewichtes verzehren.

Biologische Bewirtschaftung fördert die Entwicklung der Regenwürmer und der oberirdisch lebenden Gliedertiere. Die zahlreicher vorkommenden Räuber helfen, Schädlinge in Schach zu halten.



Regenwürmer

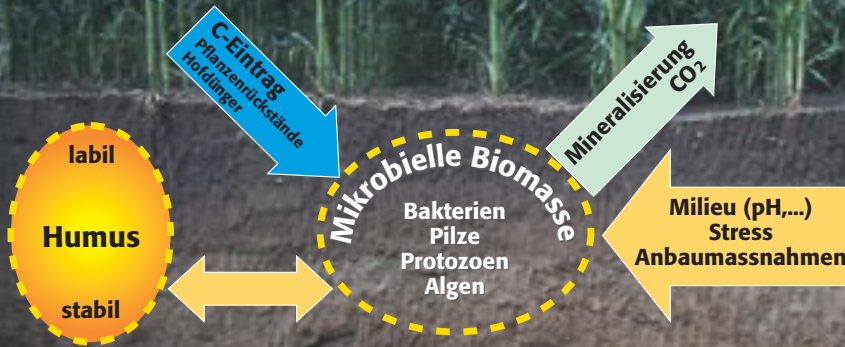
Die Regenwürmer reagieren bekanntlich empfindlich gegenüber vielen chemischen Pflanzenschutzmitteln. Da andere mögliche Einflussfaktoren wie Bodenbearbeitung und Fruchtfolge im DOK-Versuch in allen Verfahren sehr ähnlich sind, werden die Unterschiede zwischen den konventionellen und den biologischen Verfahren in erster Linie als Reaktion auf die Pestizidbehandlungen in den konventionellen Parzellen interpretiert.

Kleegras in der Fruchtfolge und organische Dünger wirkten sich förderlich auf die Regenwurmpopulationen aus. In den Bioverfahren waren die agrarökologisch wichtigen, vertikal grabenden Regenwurmart (*Nicodrilus sp.*) häufiger vorhanden.

Die biologischen Verfahren wiesen an allen Untersuchungs-terminen die höchste Regenwurmbiomasse und Anzahl Individuen auf. Die Biomasse der Regenwürmer war um 30–40 Prozent, ihre Anzahl um 50–80 Prozent höher als im konventionellen Verfahren. Gegenüber dem rein mineralisch gedüngten Verfahren waren die Unterschiede noch grösser.

Foto: Daniel Zwiygart

Kohlenstoffkreislauf im Boden



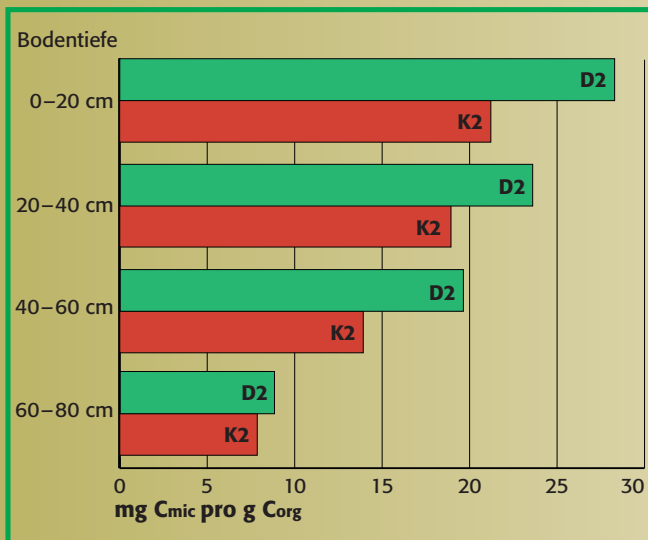
Mikroorganismen

Foto: Gabriela Brändle (FAL)

Der Boden ist Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen. Während die Pflanzen Biomasse aufbauen, ernähren sich die Bodentiere von ihnen und die Mikroorganismen erledigen den Abbau zu CO₂ und Mineralstoffen.

Die Bodenlebewesen sind ein zentraler Bestandteil der Bodenfruchtbarkeit, weil sie den Nährstoffkreislauf schliessen und die Mineralstoffe für die wachsende Pflanze wieder verfügbar machen. Ein Teil des Kohlenstoffs wird von den Mikroorganismen zu CO₂ veratmet und zum Aufbau ihrer Körpersubstanz verwendet. Ein anderer Teil verbleibt aber im Boden, wird in Humus umgewandelt und trägt durch die Verkittung der mineralischen Bodenpartikel zur Krümelbildung bei.

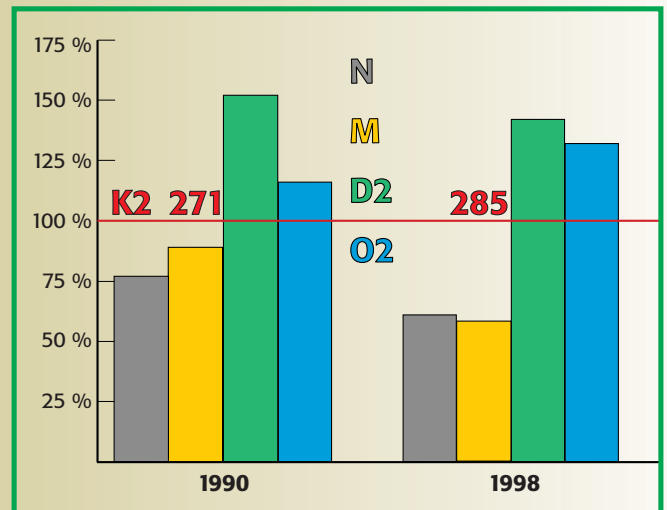
Verhältnis von mikrobiellem Kohlenstoff zum gesamten organischen Kohlenstoff



Der Anteil der Mikroorganismen an der organischen Substanz des Bodens zeigt den Belebtheitsgrad des Bodens an. Das Verhältnis von mikrobiellem Kohlenstoff (C_{mic}) zum gesamten organischen Kohlenstoff (C_{org}) war in den biologischen Verfahren höher als in den konventionellen mit und ohne Hofdünger. Dieser Unterschied pflanzte sich noch bis in 60 cm Tiefe fort. Erst in 80 cm Tiefe war kein Unterschied mehr zwischen den Verfahren zu erkennen.

Die Unterschiede unterhalb der Bearbeitungsschicht (0-20 cm) sind wahrscheinlich eine Folge der höheren Regenwurmaktivität in den Bioverfahren.

Mikrobielle Biomasse (mg C_{mic} pro kg Boden)



Die Gesamtheit der Mikroorganismen war in den Bioverfahren regelmässig um 20-40 Prozent höher als im konventionellen Verfahren mit Hofdünger und 60-85 Prozent höher als im ausschliesslich mineralisch gedüngten Verfahren. Diese Rangfolge der Verfahren trat schon 1990 auf.

Mikrobielle Biomasse und Enzymaktivitäten zeigten eine enge positive Beziehung zum pH-Wert und zum Gehalt an organischer Substanz der Böden.

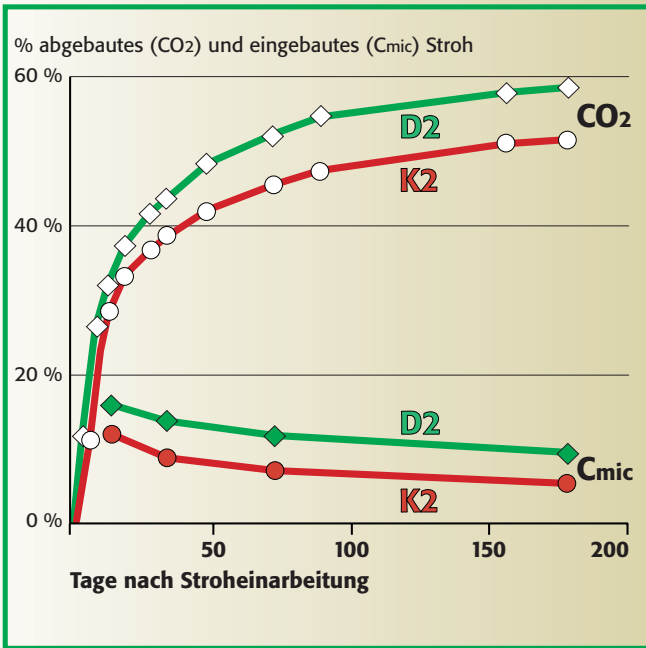


Verbliebe das gesamte Weizenstroh auf dem Acker, kämen bei 10 Tonnen Pflanzenresten und einem mittleren C-Gehalt von Stroh und Wurzeln von 40 Prozent jährlich 4'000 bis 8'000 Kilogramm Kohlenstoff pro Hektar in den Boden.

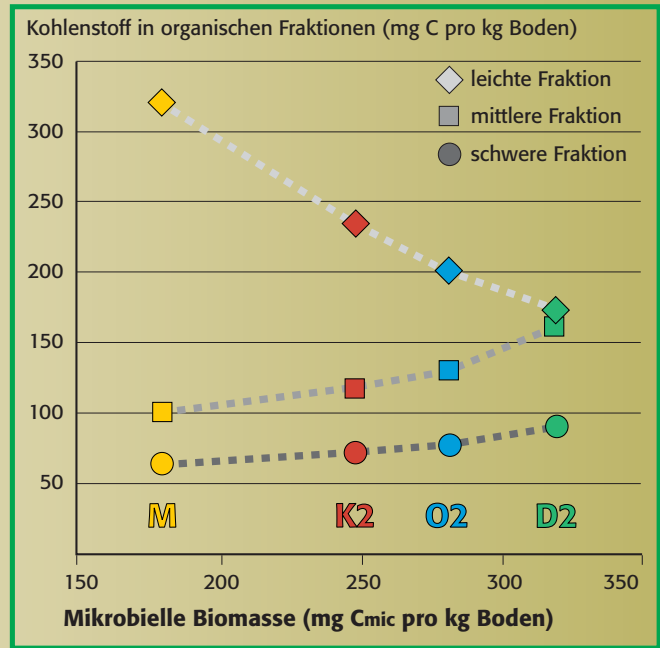
Foto: Hansueli Dierauer (FBL)

Die Arbeit der Regenwürmer und der Bodenpilze, Bakterien und übrigen Mikroorganismen geht Hand in Hand. Da diese Organismen in den Bioparzellen aktiver sind, werden zugeführte Nährstoffe rascher wieder pflanzenverfügbar gemacht und es wird gleichzeitig mehr Humus aufgebaut.

Veratmung und Zunahme der mikrobiellen Biomasse nach Strohzugabe



Bedeutung der Mikroorganismen beim Abbau von organischer Substanz



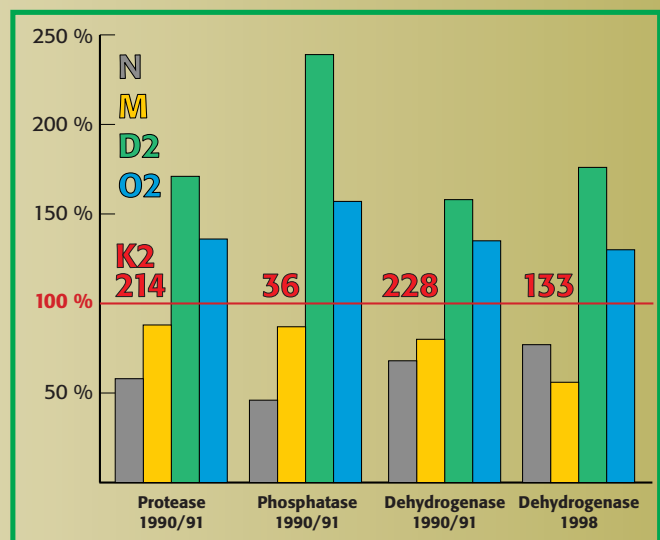
Im Boden des biologisch-dynamischen Verfahrens wurde ein grösserer Anteil des Strohs veratmet (CO₂) als in den konventionellen Verfahren und gleichzeitig ein grösserer Anteil in die mikrobielle Biomasse eingebaut (C_{mic}). Am Ende bleibt also auf der biologisch-dynamischen Fläche sehr viel weniger unangetastetes Stroh zurück. Dies macht deutlich, dass in den Bioverfahren nicht nur Mineralisierungsprozesse intensiver ablaufen, sondern auch Humusaufbauprozesse. Denn über die Jahre akkumuliert sich die Kohlenstoffmenge im Boden, die von abgestorbenen Mikroorganismen zurückbleibt.

Anhand des im Boden verbleibenden organischen Materials, das noch pflanzliche Strukturen aufweist (der «leichten» Fraktion), kann der Zusammenhang zwischen der mikrobiellen Biomasse und deren Abbauleistung aufgezeigt werden. Die spezifisch «leichte» Fraktion des organischen Materials wird durch Aufschwimmen des Bodens in Wasser gewonnen. Bei grösserer mikrobieller Biomasse, wie in den biologischen Verfahren, werden pflanzliche Reste rascher abgebaut.

Die Gesamtaktivität von Mikroorganismen lässt sich auch gut in zellgebundenen Enzymen wie der Dehydrogenaseaktivität ablesen. Dieses Enzym spielt eine wichtige Rolle im Atmungsstoffwechsel. Proteasen ihrerseits sind Enzyme, die Proteine in der Regel ausserhalb der Zelle spalten, Phosphatasen spalten organische Phosphorverbindungen und nehmen damit eine Vermittlerrolle zwischen der Pflanze und dem organischen Phosphatvorrat des Bodens ein.

In den Böden der Bioparzellen wurden deutlich höhere Enzymwerte gemessen als in den konventionellen Parzellen. Bei der Dehydrogenase konnte schon 1990 die gleiche Verfahrensdifferenzierung wie 1998 festgestellt werden.

Bodenenzyme als Zeiger mikrobieller Funktionen



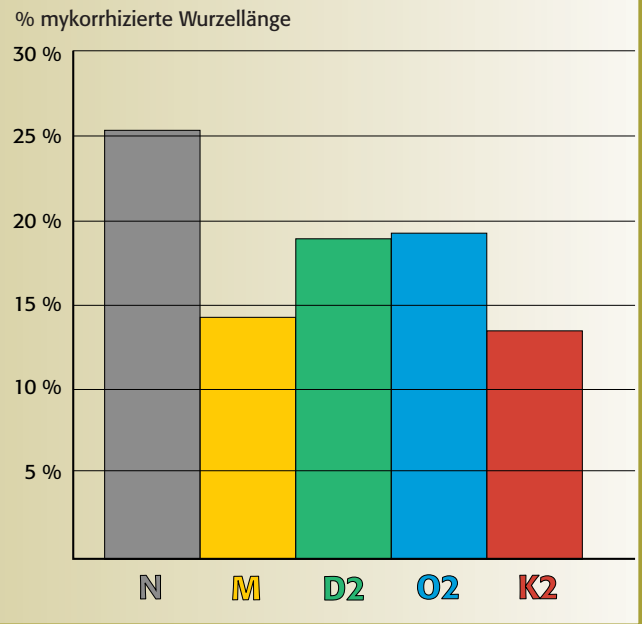
Biokulturen erschliessen dank vermehrter Symbiose mit Mykorrhizapilzen den Boden besser.

Ein Teil der mikrobiellen Biomasse des Bodens besteht aus Mykorrhizapilzen, die mit den Pflanzenwurzeln eine Symbiose eingehen. Davon profitiert sowohl der Pilz als auch die Pflanze. Die Pflanze erhält Nährstoffe, die durch das Pilzmyzel transportiert werden, und die Pflanze liefert dem Pilz im Gegenzug Zucker und andere organische Verbindungen. Die Mykorrhizapilze vergrössern den Wurzelraum der Pflanze, indem sie in kleinere Bodenporen vordringen, dort Nährstoffe aufnehmen und zur Pflanze transportieren können.

Jüngste Ergebnisse zeigen, dass die Mykorrhizapilze auch verschiedene Pflanzen miteinander verknüpfen können und so möglicherweise Nährstoffe und andere Wachstumsfaktoren von einer Pflanze zur anderen wandern können. Auch Stickstoff kann durch Mykorrhizapilze von absterbenden Leguminosenwurzeln in erheblichen Mengen zu Nichtleguminosen transportiert werden und damit vor der Auswaschung gerettet werden. Nicht zuletzt spielen die Mykorrhizapilze auch eine Rolle bei der Stabilisierung der Bodenkrümel.

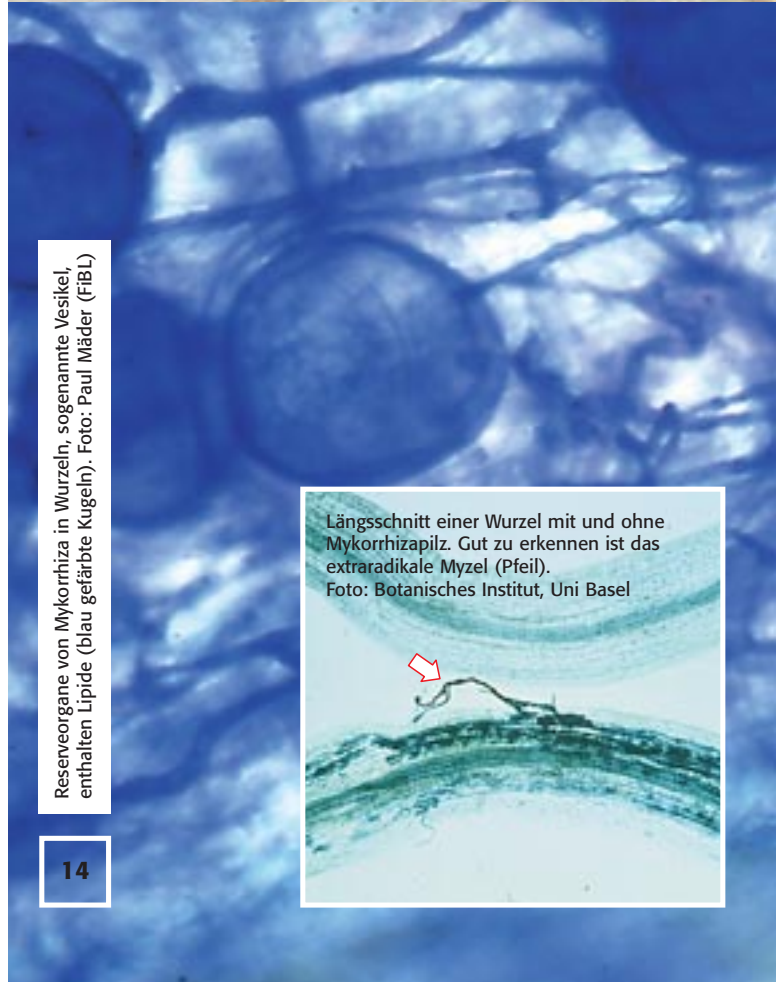
Mykorrhizapilzsporen. Foto: Botanisches Institut, Uni Basel

Besiedlung der Wurzel mit symbiotischen Mykorrhizapilzen (1989–1993)



Im Mittel aller Kulturen waren die Mykorrhizapilze an Pflanzen des ungedüngten Verfahrens am stärksten vertreten, gefolgt von den Pflanzen der Bioverfahren und schliesslich mit 30 Prozent tieferen Werten den Pflanzen der beiden konventionellen Verfahren.

In den Kulturen des DOK-Versuches wurde die stärkste Mykorrhizierung der Wurzeln unter Klee gras gefunden, gefolgt von der Zwischenfrucht Wick-Roggen. Die Wurzeln des Winterweizens hingegen wiesen eine geringe Mykorrhizierung auf. Selbst nach einer Impfung der DOK-Böden mit Mykorrhizapilz-Inokulum im Überschuss war die Mykorrhizierung in den Bioverfahren höher, wie Untersuchungen am Botanischen Institut der Uni Basel gezeigt haben. Diese Massnahme allein genügt nicht, um die Symbiose zu fördern. Mit Hilfe von Düngung und Pflanzenschutz gilt es, für die Mykorrhizapilze einen günstigen Lebensraum zu schaffen.



Längsschnitt einer Wurzel mit und ohne Mykorrhizapilz. Gut zu erkennen ist das extraradikale Myzel (Pfeil). Foto: Botanisches Institut, Uni Basel

Reserveorgane von Mykorrhiza in Wurzeln, sogenannte Vesikel, enthalten Lipide (blau gefärbte Kugeln). Foto: Paul Mäder (FiBL)

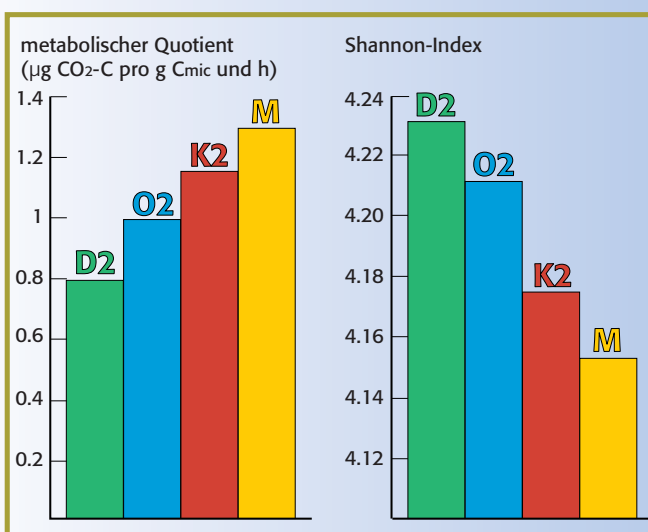
Höhere Artenvielfalt in der Kultur – was bringt das?

Ein robustes und an den Standort angepasstes Ökosystem zeichnet sich durch eine hohe Artenvielfalt aus. Die Nahrungskette ist geschlossen, und die Nährstoffe sind in erster Linie in biologischer Form gebunden. Dies deckt sich mit einem der Grundprinzipien des biologischen Landbaus, dem geschlossenen Nährstoffkreislauf.

Der DOK-Versuch zeigt, dass eine biologische Bewirtschaftung selbst ohne spezielle Förderung in angrenzenden naturnahen Flächen das Vorkommen von mehr Beikraut- und Kleintierarten ermöglicht als das konventionelle Verfahren. In den konventionellen Systemen wird die Begleitflora durch den dichteren Pflanzenbestand und zusätzlich gezielt durch den Einsatz von Herbiziden bekämpft. Wo aber eine vielfältige Flora vorhanden ist, sind auch mehr pflanzenfressende und blütenbesuchende Kleinlebewesen zu finden. Dies wiederum verbessert die Ernährung der räuberisch lebenden Gliedertiere, wie der Laufkäfer.

So unterschieden sich die Populationen der sehr mobilen Laufkäfer in den Bioflächen des DOK-Versuches in der Anzahl der vertretenen Arten und der Artenzusammensetzung. Von den insgesamt 39 nachgewiesenen Laufkäferarten hielten sich gefährdete und mikroklimatisch anspruchsvolle Arten zahlreicher und zum Teil auch exklusiv in den biologisch bewirtschafteten Kulturen auf.

Energienutzung und mikrobielle Diversität (1995/96)



Anhand des Substratnutzungsmusters wurde die mikrobielle Abbaufähigkeit untersucht. Diese gibt Hinweise zur Vielfalt der Mikroorganismenpopulation im Boden.

Die mikrobielle Vielfalt (Shannon-Index) war im DOK-Versuch besonders im biologisch-dynamischen Verfahren höher als in den konventionellen Verfahren, allerdings nur an den Frühjahrs-

Bioflächen zeichnen sich durch eine höhere Vielfalt an Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen aus. Dies macht das Bioökosystem robuster gegen Störungen und Stress.

Dank ihrer hohen Vielfalt nutzen die Mikroorganismen in biologisch bewirtschafteten Böden die Energie effizienter.



Foto: Lukas Pfiffner (FiBL)

In Ackerkulturen erhöht schon eine geringe Restverunkrautung die Attraktivität für Laufkäfer und andere Nützlinge.

Anzahl Arten in den Anbausystemen

	Beikräuter (88–91)	Samenvorrat (96–98)	Laufkäfer (88–91)	Regenwürmer (90–92)
D2	11	17	38	7
O2	9	19	35	8
K2	1	17	32	6

In den Bioparzellen konnten sich wesentlich mehr Beikrautarten entwickeln als in den konventionell bewirtschafteten Kulturen. Dies verbesserte die Lebensraumverhältnisse für viele Laufkäferarten. In den biologisch bewirtschafteten Flächen wurden auch mehr Regenwurmarten gefunden. Besonders die ökologisch wichtigen, vertikal grabenden Regenwurmarten sind in den Bioböden zahlreicher vorhanden. Dagegen unterschieden sich weder der Samenvorrat noch die darin vorkommende Artenzahl auch nach 21 Jahren nicht.

terminen. Im Herbst war die Mikroflora durch das Einbringen der Ernterückstände und Dünger verändert und zeigte keine Verfahrensunterschiede mehr an.

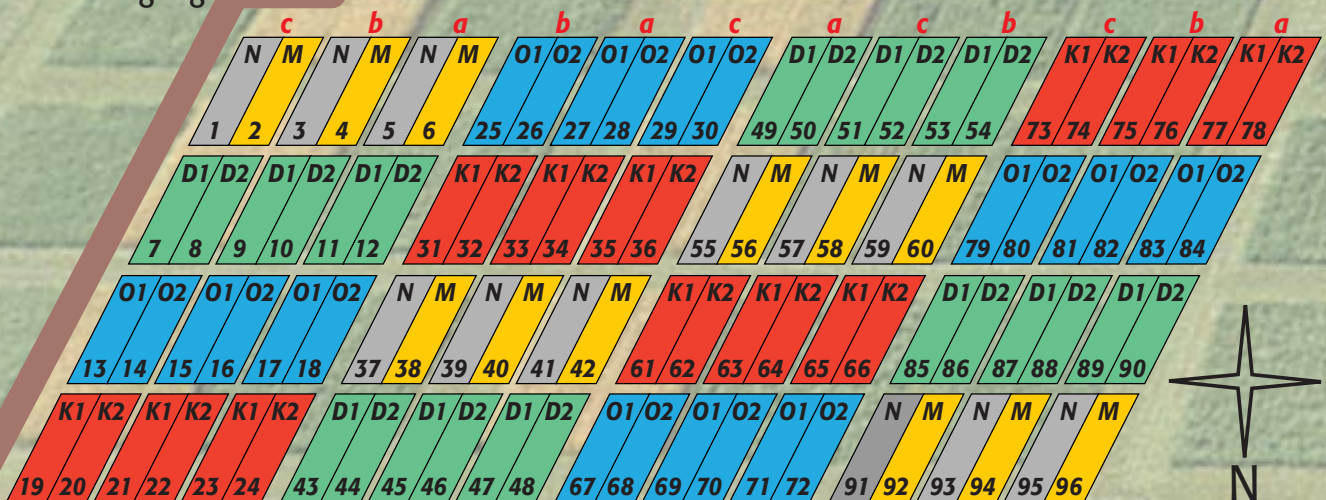
Der Vergleich der Vielfalt mit dem Atmungsquotienten (metabolischer Quotient) zeigt, dass Mikroorganismenpopulationen mit steigender Vielfalt weniger Energie pro Einheit Biomasse benötigen. Eine vielfältigere Mikroorganismenpopulation, wie sie in den Bioparzellen gefunden wurde, kann also mehr Energie in ihr Wachstum investieren und braucht weniger zu ihrer Erhaltung. Für die landwirtschaftliche Praxis heisst das: Organische Substanz wird rascher umgesetzt und steht den Pflanzen für die Nährstoffversorgung rascher zur Verfügung. Infolge der effizienteren Energienutzung verbleibt mehr Kohlenstoff im Boden zum Aufbau von Humus.

Die drei Hauptverfahren D, O und K werden in zwei Düngungsintensitätsstufen geführt, die Verfahren M und N einfach. Die Hauptverfahren sind als vier Wiederholungen dem Prinzip des lateinischen Quadrats gemäss in jeder Reihe und jeder Spalte vertreten.

Zur statistischen Absicherung der kulturspezifischen Grössen über die siebenjährige Fruchtfolgeperiode und aus Demonstrations- und Erhebungsgründen werden die Fruchtfolgeglieder in drei Schlägen a, b und c zeitlich versetzt wiederholt. Dadurch ist jedes Verfahren in jedem Jahr häufig mit einer Hackfrucht, einer Getreidekultur und einer Kunstwiese vertreten.

Der Versuch besteht aus 96 Einzelparzellen à 5 x 20 Meter.

Eingang



Literatur

Alföldi T, Schmid O, Gaillard G und Dubois D (1999) IP- und Bio-Produktion: Ökobilanzierung über eine Fruchtfolge. Agrarforschung 6: 337–340; Berchtold A, Besson J-M, Feller U (1995) Effects of fertilization levels in two farming systems on senescence and nutrient contents in potato leaves. Plant Soil 154, 81–88; Besson J-M, Spiess E and Niggli U (1995) N uptake in relation to N application during two crop rotations in the DOC field trial. Biol. Agric. Hortic. 11: 69–75; Dubois D, Scherrer C, Gunst L, Jossi W and Stauffer W (1998) Effect of different farming systems on the weed seed bank in the long term-trials Chaiblen and DOK. J. Plant Dis. Protect. Special Issue XVI: 67–74; Dubois D, Gunst L, Fried P, Stauffer W, Spiess E, Mäder P, Alföldi T, Fliessbach A, Frei R und Niggli U (1999) DOK-Versuch: Ertragsentwicklung und Energieeffizienz. Agrarforschung 6: 71–74; Fliessbach A and Mäder P (2000) Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. Soil Biol. Biochem. 32: 757–768; Fliessbach A, Mäder P and Niggli U (2000) Mineralization and microbial assimilation of ¹⁴C-labeled straw in soils of organic and conventional agricultural systems. Soil Biol. Biochem. 32: 1031–1039; Fliessbach A, Eyhorn F, Mäder P, Rentsch D and Hany R (2001) DOK long-term farming systems trial: Microbial biomass, activity and diversity affect the decomposition of plant residues. In "Sustainable Management of Soil Organic Matter" (R. M. Rees, B. C. Ball, C. D. Campbell and C. A. Watson, eds.), 363-369. CABI, London; Mäder P, Edenhofer S, Boller T, Wiemken A and Niggli U (2000) Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input ('organic', 'biological') and high-input ('conventional') farming systems in a crop rotation. Biol. Fertil. Soils 31: 150–156; Mäder P, Pfiffner L, Fliessbach A, von Lütow M and Munch JC (1996) Soil ecology – The impact of organic and conventional agriculture on soil biota and its significance for soil fertility. In: Østergaard TV (ed.): Fundamentals of Organic Agriculture. Proc. of the 11th IFOAM Scientific Conf., Vol. 1, Copenhagen, 11–15.8.1996, pp 24–46; Niggli U, Alföldi T, Mäder P, Pfiffner L, Spiess E and Besson J-M (1995) DOK-Versuch: Vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen Biologisch-dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell VI. Synthese, 1. und 2. Fruchtfolgeperiode. Schweiz. Landw. Forsch. DOK-Sonderheft 4, 1–34; Oberson A, Besson J-M, Maire N and Sticher H (1996) Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. Biol. Fertil. Soils 21, 138–148; Oberson A, Fardeau J-C, Besson J-M and Sticher H (1993) Soil phosphorus dynamics in cropping systems managed according to conventional and biological methods. Biol. Fertil. Soils 16, 111–117; Pfiffner L and Mäder P (1997) Effects of Bio-dynamic, Organic and Conventional Production Systems on Earthworm Populations. – Biol. Agric. Hortic. 15: 3–10; Pfiffner L and Niggli U (1996) Effects of bio-dynamic, organic and conventional farming on ground beetles (Col. Carabidae) and other epigeic arthropods in winter wheat. Biol. Agric. Hortic. 12, 353–364; Siegrist S, Schaub D, Pfiffner L and Mäder P (1998) Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. Agric. Ecosys. Environ. 69: 253–264.